

水利水电工程冬季混凝土施工质量控制要点

陈金波

东营市垦利区水利工程公司 山东 东营 257500

摘 要：冬季低温环境对水利水电工程混凝土施工质量构成多维度干扰，涉及材料性能衰减、硬化成型延缓及结构密实度难以保障等突出问题。本文围绕冬季施工特性展开分析，从胶凝材料储存、骨料防护、外加剂适配及拌合用水温控等方面系统梳理原材料管控要点，并针对拌合、运输、浇筑及层间接缝等施工过程环节提出质量控制措施，同时探讨保温养护方式选用、保湿流程管控、极端天气专项防护及全周期动态管理等养护防护策略。各环节协同管控可有效降低冻害风险，保障混凝土结构早期性能稳定发展。

关键词：水利水电工程；冬季混凝土施工；质量控制；保温养护；原材料管控

引言：水利水电工程多依托户外水域环境施工，冬季低温、大风、寒潮等气象条件持续作用于混凝土拌合、浇筑与成型各环节，施工质量稳定性面临严峻考验。大体积混凝土构型内部蓄热与散热规律复杂，水域周边特殊湿度与风力条件加剧了表层热量散失，内外温差管控难度显著提升。混凝土早期强度增长放缓、微观结构成型质量波动等问题，使得冬季施工对原材料管控、过程工艺控制及养护防护提出了更为严苛的要求，应从全流程视角系统梳理各环节质量控制要点。

1 水利水电工程冬季混凝土施工特性分析

1.1 冬季环境对混凝土材料性能的影响

低温气候条件会改变混凝土各类组成材料的固有性能状态，对施工全过程的稳定性形成直接影响。胶凝材料的水化反应速率会随环境温度降低逐步放缓，材料内部活性反应强度持续减弱，整体凝结固化的推进节奏出现明显延缓^[1]。粗细骨料长期处于低温环境中，内部孔隙结构会出现低温收缩变化，骨料表层易附着固态冰晶，自身致密性与粘结适配性会出现细微改变。拌合水体温度持续走低后，会弱化与胶凝材料的融合效果，影响拌合体系的均匀程度。各类功能性外加剂的适配状态会随温度波动发生改变，有效成分的作用活性出现波动，难以维持常规温度环境下的稳定作用状态，混凝土拌合后的初始工作性能会产生相应偏差。

1.2 冬季工况下混凝土硬化成型规律

常规温度环境下的混凝土硬化成型节奏相对稳定，冬季低温环境会彻底改变硬化成型的整体发展节奏。混凝土内部水化反应的进程持续放缓，内部结构晶体的生成速度逐步变慢，浆体凝结成型的整体时长大幅增加。低温环境会让混凝土内部游离水分的物理状态发生改变，未及时参与水化反应的水分易出现低温固化问题，

阻碍内部结构的密实成型。混凝土早期强度的增长速度持续放缓，内部孔隙填充效果变差，成型结构的均匀度难以保障。低温持续作用的过程中，混凝土内部微观结构的成型质量存在波动，结构致密性的发展进程整体趋于缓慢。

1.3 水利水电工程混凝土冬季施工的特殊性

水利水电工程施工场景多依托户外水域环境开展，冬季施工的环境干扰属性远强于普通建筑工程。工程结构多为大体积混凝土构型，构件体量偏大，内部蓄热与散热的变化规律更为复杂，温度应力的产生与扩散具备独特特征。水域周边的空气湿度与风力条件特殊，混凝土表层热量散失速度更快，内外温差的管控难度显著提升。水利工程混凝土结构长期服役于水环境中，冬季成型的结构质量会直接影响后续抗渗、抗冻等耐久性能，施工过程对结构密实度和完整性的控制标准更为严苛。户外露天的施工场景，让施工过程极易受气温波动、风冷侵袭等自然条件影响，施工状态的稳定性更难维持。

1.4 冬季混凝土施工质量干扰因素分析

冬季混凝土施工质量的干扰来源覆盖材料、环境、施工工艺多个维度。自然环境中的低温、大风、降温波动等气象条件，会持续作用于混凝土拌合、浇筑、成型的各个环节，打乱常规施工的质量形成节奏。材料存储与拌合环节的低温防护不到位，会造成各类原材料性能出现异常波动，从源头影响混凝土拌合质量的均匀性。施工场地的持续低温会干扰拌合、振捣等设备的运行精度，各工序作业质量难以稳定把控。

2 冬季混凝土施工原材料质量管控

2.1 胶凝材料冬季储存与管控要求

胶凝材料的存储状态直接决定混凝土基础性能的稳定性，冬季低温环境需要搭建专属的存储防护体系。存

储场地需要做好封闭保温处理,隔绝外界冷空气与风雪侵袭,保持场地内部温度处于平稳区间。材料堆放区域需设置垫高防护结构,阻断地面低温潮气向上渗透,避免材料表层受潮结霜或结块团聚^[2]。存储过程中需要保持场地通风条件适度均衡,杜绝水汽长期积聚引发的材料活性衰减。作业人员需要落实常态化的物料状态巡查,及时清理堆积的凝霜与潮气,保障胶凝材料保持稳定的水化活性,杜绝变质物料投入施工流程。

2.2 骨料物料冬季防护与质量把控

粗细骨料露天堆放体量较大,冬季低温天气容易引发物料表层结冰、含水率失衡等问题。骨料堆放区域需要铺设保温遮盖设施,削弱风力降温与低温冻结对物料的影响,减少表层冰晶的生成数量。场地排水体系需要保持通畅状态,及时排走雨雪积水,规避积水渗入骨料内部形成冻层。不同规格的骨料需要分区隔离堆放,规避混杂堆放引发的级配紊乱。施工作业前需要筛查骨料表层的冻结结块物料,清理不合格物料后再投入拌合作业,保障骨料整体级配与密实状态符合施工标准。

2.3 外加剂适配选用与管控方式

外加剂的性能表现对冬季混凝土施工质量起到关键调节作用,需要结合低温施工环境筛选适配品类。选型工作依托低温施工工况的核心需求开展,优先选用低温环境下活性稳定、适配性良好的产品。存储区域保持恒温干燥的环境状态,避免低温造成有效成分沉淀分层,杜绝物料性能出现衰减变化。取用过程严格遵循定量取用的作业标准,根据现场施工环境调整适配用量,保障外加剂可以均匀融合于拌合物料内部。定期检查外加剂物料的均匀状态,对出现分层沉淀的物料进行合规处置,维持功能属性的稳定输出。

2.4 拌合用水温控与管理要求

拌合用水的温度参数是调控冬季混凝土拌合温度的核心载体,水温波动会直接影响水化反应效率与拌合质量。施工期间需要对拌合水体开展主动温控处理,提升水体基础温度以适配低温施工环境。储水设备全程做好保温防护,降低水体热量散失速度,维持水温的平稳状态。水体存储区域规避露天放置,减少风雪、低温气流对水温的干扰。作业过程持续监测水体温度状态,保障拌合全程水温维持在适宜区间,助力胶凝材料充分水化,提升混凝土拌合体系的均匀程度与成型稳定性^[3]。

3 水利水电冬季混凝土施工过程质量控制

3.1 冬季混凝土拌合工序质量控制

拌合工序是把控冬季混凝土整体施工质量的核心环节,低温环境需优化整套拌合作业流程。拌合设备机身

与料仓结构需做好保温防护,缓解设备壳体散热带来的物料温度损耗,维持拌合作业的恒温作业环境。物料投料顺序遵循低温施工适配原则,依据原材料性能差异调整投料节奏,促进各类物料充分交融反应。拌合时长结合现场低温工况合理优化,弥补低温环境下水化反应速率偏弱的问题,让拌合物料整体性能保持均匀统一。作业人员实时观察拌合物料的和易状态,及时适配现场环境微调作业参数,规避拌合不均、物料离析等施工问题。

3.2 混凝土运输过程保温与质量管控

户外低温风力环境会持续带走混凝土运输过程的热量,破坏拌合完成后的物料稳定状态。运输车辆罐体需布设完整的保温防护结构,阻隔外部低温气流侵袭,削弱罐体表面热量散失。运输路线优先选取路况平稳的通行路段,减少车体颠簸引发的混凝土物料离析问题,维持物料内部结构均匀性。运输作业尽量缩减途中周转时长,缩短物料暴露在低温环境中的时间范围。到场卸料前对罐体进行低速转动处理,改善物料静置过程的性能衰减问题,保障入仓混凝土具备合格的工作性能。

3.3 冬季混凝土浇筑工序质量控制

混凝土浇筑作业需匹配冬季低温工况调整作业模式,保障浇筑成型的整体质量。浇筑作业选取日间温度相对温和的时段开展,规避极端低温时段作业引发的成型缺陷。浇筑作业保持连续推进的作业节奏,减少浇筑中断带来的表层降温凝固问题,维持结构成型的整体性。入仓物料严格把控温度状态,杜绝低温超差物料直接入仓浇筑。振捣作业遵循密实均匀的作业原则,适配冬季混凝土凝固特性调整振捣幅度与作业节奏,消除结构内部残留空隙,提升浇筑体整体密实程度。

3.4 施工接缝与分层施工质量管控

分层浇筑模式广泛应用于水利水电大体积混凝土施工,冬季低温会加剧层间衔接的质量隐患。下层混凝土表层养护成型后,及时开展表层清理作业,去除表层浮浆与松散物料,打造规整的层间结合面。间隔时长结合低温凝固特性合理把控,避免间隔过久造成表层完全凝固,弱化层间粘结性能。新老接缝位置重点做好保温防护,降低温差带来的结构收缩差异,规避接缝位置产生细微裂缝。分层浇筑厚度保持均匀统一,配合适配的振捣工艺强化层间咬合效果,保障整体结构的连续性与完整性。

4 冬季混凝土成型后养护与防护管控

4.1 冬季混凝土保温养护方式选用

冬季低温环境会持续消耗混凝土成型后产生的水化热能,弱化结构固化效果,科学选用保温养护方式是抵

御低温冻害、保障强度稳步增长的核心举措。养护手段的筛选需要结合水利工程构件形制、现场风力强度及环境温度变化灵活适配,贴合不同施工部位的防护需求。平面仓面构件适合采用薄膜覆盖养护工艺,致密薄膜可以阻隔外部冷空气渗透,锁住混凝土水化反应生成的热能,有效减缓表层热量流失,维持结构表层温度稳定^[4]。立面墙体、墩柱等竖向构件适配保温包覆工艺,柔性保温材料可以贴合构件外形,抵御户外风冷侵袭,减少构件整体温度波动。大型整体浇筑结构可采用封闭围挡蓄热养护,通过围挡设施封闭施工区域,构建相对稳定的养护空间,削弱外界低温气候对结构固化的干扰。多样的养护工艺可根据现场工况灵活搭配使用,筑牢混凝土早期成型的温度保障基础。

4.2 混凝土保湿养护流程管控

冬季干燥低温的气候特征会加速混凝土表层水分蒸发,水分快速流失会中断内部水化反应,引发表层干缩裂隙等质量问题,规范保湿养护流程对结构密实度提升至关重要。保湿养护作业需要紧密衔接混凝土浇筑收面工序,把控合理的作业启动节点,避免表层长时间裸露风干。构件表层修整作业完成后,及时铺设柔性保湿材料,牢牢锁住混凝土内部游离水分,为水化反应持续开展提供稳定的介质条件。养护作业全程维持构件表层均匀湿润的状态,杜绝局部区域干湿交替引发的结构性缺陷。严格把控养护过程中的水分补给强度,规避过量水分滞留结构表层,防止低温环境下积水冻结损伤混凝土表层。标准化的保湿作业流程能够稳定内部固化进程,持续提升混凝土结构的整体密实度与耐久性能。

4.3 极端低温环境专项防护管控

寒潮降温、强风霜冻等恶劣天气会大幅加重混凝土成型损伤风险,常规养护手段难以适配恶劣工况,需要落实针对性的专项防护举措。施工现场提前布设防风遮蔽设施,削弱冷空气对流运动对混凝土表层的降温作用,缓解风力造成的快速散热现象。长期暴露在户外的混凝土构件,需要加厚表层保温防护层,提升整体隔热保温能力,抵御低温冻融带来的结构损伤。夜间气温回落幅度较大,需要增加现场巡查频次,及时修复移位、

破损的防护覆盖层,避免构件表层直接暴露在低温环境中。临水施工区域的混凝土构件受水汽与低温双重影响,需增设多层防护结构,弱化环境因素叠加带来的不利作用,保障构件在极端天气下稳定固化成型。

4.4 养护周期内动态管控措施

冬季气候状态处于动态波动之中,固定养护模式无法适配全周期成型需求,开展全过程动态管控可以精准适配混凝土不同固化阶段的养护需求。成型初期的混凝土结构稳定性偏弱,重点强化保温防护力度,稳定内部水化温度场,避免低温破坏初期微观结构形态^[5]。成型中期的混凝土强度稳步提升,养护工作侧重平衡结构内外温湿度状态,根据实时气温变化调整防护覆盖厚度,规避温差过大引发的收缩裂缝。成型后期逐步调整养护防护强度,适配外部环境温度,让结构性能平稳适配自然工况。

结束语

冬季混凝土施工质量控制是一项贯穿材料管控、过程操作与养护防护的系统工程。胶凝材料、骨料、外加剂及拌合用水的低温防护构成质量形成的物质基础,拌合、运输、浇筑与接缝处理的工艺优化则决定了结构成型的整体均匀性,而保温保湿养护与极端天气专项防护为混凝土早期性能稳定增长提供了关键保障。各环节相互关联、缺一不可,只有将全流程管控措施落到实处,才能有效抵御低温冻害,确保水利水电工程混凝土结构的密实度与耐久性能满足设计要求。

参考文献

- [1]周建兴.水利水电工程冬季施工混凝土技术标准及质量控制[J].大众标准化,2022(12):7-9.
- [2]周君丹.探究水利工程冬季混凝土施工的质量控制措施[J].科学技术创新,2024(20):189-192.
- [3]李鹏.水利工程冬季混凝土施工的质量控制方法分析[J].建材发展导向,2026,24(8):31-33.
- [4]皮进勇.高寒地区水工混凝土冬季施工关键技术及质量控制[J].水泥,2025(9):149-151.
- [5]张坤,李杨.水利工程建筑冬季施工技术及其质量控制[J].模型世界,2024(35):191-193.